

[F18p01]

**INVESTIGATION ON THE POSITRON FACTORY PROJECT AT JAERI (XI)
- PROGRESS IN TECHNICAL DEVELOPMENT OF SOME ESSENTIAL PARTS FOR
HIGH-POWER ELECTRON LINAC -**

**SUNAGA H., OKADA S., TAKIZAWA H., KANEKO H., KAWASUSO A.,
and YOTSUMOTO K.**

**Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
1233 Watanuki-cho, Takasaki, Gunma 370-1292 Japan**

Abstract

As the design study for the Positron Factory project at JAERI, development and demonstrative test of some essential parts for the high-power electron linac have been carried out. Water cooled and SF₆ gas filled type RF window for high-power klystron was produced by way of trial and confirmed the performance in operation at peak RF power 36.6 MW, average rf power 40.1 kW with pulse width 5.3 us. This performances fulfil the requirement for the klystron when it is used with two window type in the high-power linac. Beam windows for incidence of the intense electron beams to water cooled conveter of the target system from the linac was tested using the thermal load testing system. 100 um thick titanium and tantalum foil were tested. And it was confirmed that the both foil were applicable for beam window for incidence window of the target system.

**原研におけるポジトロンファクトリー計画の検討 (XI)
- 大出力電子リニアックのための要素技術開発の進展 -**

1. はじめに

日本原子力研究所において設置計画を進めているポジトロン利用研究施設¹⁾ (通称ポジトロンファクトリー, POF) について、平成9年度に実施した検討結果を述べる。9年度はこれまでに進めた設計研究で得られた結果のうち、技術的可能性を実証する必要があるものについての開発、性能確認、及び更に詳細なデータが必要な項目についての検討を進めた。ここではポジトロン発生に用いる大出力電子リニアック用の高ピーク大平均出力クライストロン用のRF窓の開発、及びリニアックからの電子ビームをターゲット系の冷却水中に取り出すための電子ビーム窓の耐熱性についての試験結果を述べる。

2. 大出力クライストロン用RF窓の開発

2.1 所要仕様

POFにおいてもっとも基本となる装置は100 MeV、100kWの大出力電子リニアックである。この電子リニアックについては平成8年度に実施した設計研究において、連続安定運転性、サイズがコンパクトであること等の観点より、Sバンド、進行波型のリニアックが適切で、主要加速部は約3

mのレギュラ管3本で構成できることが明らかになり、この方式のリニアックの設計を進めた²⁾。

このリニアックにおいて必要とするクライストロンの概略仕様は表1のようになる。

表1 クライストロンの所要仕様

| | |
|---------|-----------|
| 周波数 | 2856 MHz |
| パルス幅 | 4 μ s |
| ピーク出力電力 | 30 MW |
| 平均出力電力 | 70 kW |

この所要仕様に対し、既存のクライストロンで出力電力を大きくとれるものは、E3730A(50MW, 10kW, RF窓数1)、E3712(80MW, 16kW, RF窓数2)、PV-3030A3(40MW, 8kW, RF窓数1)、PV-2014B(25 MW, 30kW, RF窓数2)などであり、特に平均出力電力において仕様を満たすものはなく、従って本設計のリニアックに適用するクライストロンは新たに開発する必要がある。

大出力クライストロンの開発において、主要な開発要素はRF出力窓とコレクターである。

このうちコレクターについては大型化や冷却水量の増加等で対処できる見込みであるが、RF窓については高ピーク大平均出力の点で前例がなく、開発のキーポイントであるといえる。そこで今回、このRF出力窓の試作及び性能試験を実施した。

このRF窓の開発における基本的な考えは次の4点である。

- (1) 既存のクライストロンのうち、RF窓1窓当たりのピーク電力及び平均電力が最も高いE3730AをベースとしてRF窓の開発を進める、
- (2) 1窓当たりのピーク電力及び平均電力の負担に配慮して、クライストロンは2窓式とする、
- (3) ベリリアは高い熱伝導が期待できるが、破損時の毒性等の点で問題があり、通常のアルミナセラミックとし、その外周部を水冷する、
- (4) 窓の片面（出力側）は真空とせず、対流冷却が期待できるSF6加圧とする。

上記(2)により、このRF窓の出力電力に対する性能は表1で示した値の半分で良いことになるが、それでも平均出力については既存の2倍以上になり、この高出力に耐えられるための実証確認を要する。

試作するRF窓の使用条件についての仕様は、実機運転条件から表2の通りとした。

表2 RF窓の使用条件についての仕様

| | |
|---------|-------------------|
| RF周波数 | 2856 MHz |
| ピークRF出力 | 16 MW (窓2個で32 MW) |
| 平均RF出力 | 36 kW (窓2個で72 kW) |
| VSWR | 1.5(瞬時)、1.2(連続) |

2.2 試作及び性能試験

図.1に試作したRF窓部の外観写真を示す。また、図.2はこのRF窓の性能試験を行うための配置図を示す。性能試験はE3730Aのコレクタ部を大電力用に改造した試験用クライストロンに取り付け、表3に示す条件（最大）で実機運転状況を模擬して行った。

表3 RF窓の性能試験を行った試験用クライストロンの運転条件

| | |
|---------|-------------|
| ビーム電圧 | 274.2 kV |
| ビーム電流 | 305.6 A |
| パルス繰り返し | 200 Hz |
| RFパルス幅 | 5.3 μ s |
| ピークRF出力 | 36.6 MW |
| 平均RF出力 | 40.1 kW |

この性能試験において、SF6の圧力は4 kg/cm²とした。またパルス繰り返し周波数については実機では600 Hz以上で使用する予定になっているが、試験設備の制約でパルス繰り返しの上限が200 Hz



図.1 試作したRF窓部の外観写真

となった。しかし、ピークRF出力及びパルス幅を実機運転よりも上げて、平均出力40 kWを確保したため、表3の条件は実機運転よりも厳しいものとなっている。平均RF出力は水負荷の冷却水量及び温度上昇の測定結果より算出し、RFパルス幅は水負荷部分に取り付けられたRFピックアップ端子にクリスタルデテクタを接続してオシロスコープにより観測して求め、さらにピークRF出力は上記の平均RF出力、RFパルス幅及びパルス繰り返し周波数から算出した。

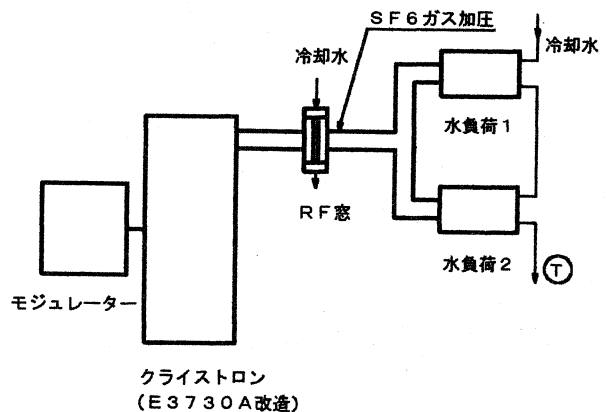


図.2 RF窓部の性能試験配置図

本性能試験では初期にエージング不足と考えられる小放電が時々生じたが、時間の経過とともに減少し、長時間にわたり安定な運転ができ、特にピークRF出力電力、平均RF出力電力に対する性能として表2に示す仕様を満たすことが確認できた。この結果は設計を進めたリニアックにおいて主要な構成要素であるとともに開発要素であるクライストロンについて、その製作が可能であることを実証できたと言えよう。

3. 電子ビーム窓の耐熱試験

3.1 ビーム窓の所要性能

電子リニアックから放出される100 MeV、100 kWの電子ビームは直径10 mm以下のサイズでターゲット系の〔電子/ポジトロン〕コンバータへ入射する。コンバータとしては水冷式回転型³⁾の

採用を予定しており、片面は真空、片面は冷却水と接するビーム窓を用いることになる。このビーム入射窓はビーム窓として適した特性を備えたチタンとするか、コンバータの一部としても活用するため、タンタルとするか決まっていないが、この大強度電子の入射に対し、熱的及び照射劣化に耐えられることが基本的に必要である。今回は特に耐熱性について検討を行うことを目的として両者について電子ビーム入射試験を行った。

ビーム窓の厚さは100 μm とした。100 MeV電子が100 μm のチタン、タンタルに入射した場合のエネルギー損失は質量衝突阻止能による概算でそれぞれ0.08、0.24 MeVとなり、ビーム径10 mmに1 mAが入射した場合にはそれぞれ100及び300 W/cm²となる。

3.2 試験結果

ビーム窓の耐熱試験を行うため、10 kVという低い加速電圧であるが、200 mAまで電子ビームを発生できる「ビーム窓熱負荷試験装置」を製作した。図3に本装置の概略図を示す。本装置の電子銃から試料に入射するビーム光学系の設計にはEGUNプログラムを用いた。この装置では片面は真空、片面は冷却水に接する状態で窓材がセットでき、約1 kW/cm²の入射ビーム強度が得られる。

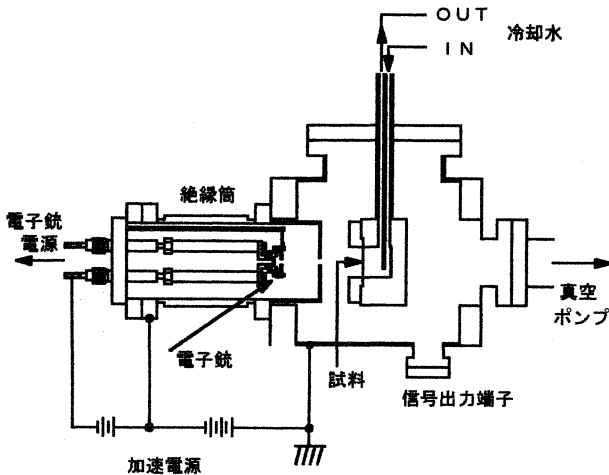


図3 ビーム窓熱負荷試験装置の概略図

本装置を用いたこれまでの実験で、チタン箔の場合には冷却水量5.2 l/minで、入射ビーム量11 mA/10mm ϕ 、エネルギーフルエンス率103 W/cm²、またタンタル箔の場合には同じ冷却水量で、入射ビーム量7.5 mA/10mm ϕ 、エネルギーフルエンス率78 W/cm²まで異常ないことが確認できた。この結果は、入射ビーム量においては実機の場合に比較し7.5~11倍の値であり、耐熱性については問題ないという結論が得られる。なお、エネルギーフルエンス率についてはエネルギーを吸収する試料の厚さが実機の場合と大きく異なるので(10 keV

ではチタンの場合1 μm 程度)、これを用いた評価は適切でなく、むしろエネルギーを吸収する部分における吸収線量率での比較が相応しいと思われる。この場合においても今回の実験結果は実機の使用条件で、熱的には問題ないことは明らかである。

4. あとがき

ここに述べた2つの要素技術開発の結果は、POF建設を実現させるためのきわめて重要な技術的課題が解決できたことを示す。POF実現に向けての作業は、これまでの設計の段階から、今回のように必要な要素についてその技術的可能性を実証する段階になっており、建設スタートに向けて更に技術の蓄積を図りたい。

参考文献

- 1) 岡田他：“原研におけるポジトロンファクトリー計画の検討(Ⅲ)～(Ⅹ)”第15～22回リニアック技術研究会(1990)～(1997)
- 2) 須永他：“原研におけるポジトロンファクトリー計画の検討(Ⅹ)”第22回リニアック技術研究会 p98 (1997)
- 3) 須永他：“原研におけるポジトロンファクトリー計画の検討(Ⅶ)”第19回リニアック技術研究会 p181 (1994)